

2006년 하계 가막만의 환경요인 변동에 따른 중형동물플랑크톤 군집의 단기 변동

문성용 · 오현주 · 김숙양

국립수산과학원 남해수산연구소

(2008년 2월 19일 접수; 2008년 8월 28일 수정; 2008년 11월 10일 채택)

Short-term Variations of Mesozooplankton Related to the Environmental Factors in Gamak Bay during Summer, 2006

Seong-Yong Moon, Hyun-Ju Oh and Sook-Yang Kim

South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

(Manuscript received 19 February, 2008; revised 28 August, 2008; accepted 10 November, 2008)

Abstract

The short-term variations of the mesozooplankton community structure were investigated in Gamak Bay during summer season, 2006. The study was based on a comprehensive survey constituting from 12 stations on June 19, July 28, August 4, and August 29, respectively. Mean of temperature and chlorophyll *a* concentrations in the surface layer were significantly higher than those in bottom layer, and those concentrations were significantly higher in the inner-bay than those in the outer bay. A total of 40 taxa including 19 copepods were observed in Gamak Bay during summer season. Mean abundance of total mesozooplankton varied from 1,859 to 26,111 indiv. m⁻³. The dominant species were *Noctiluca scintillans*, *Penilia avirostris*, *Evadne tergestina*, *Paracalanus parvus* s. l., *Acartia omorii* and Cirriped nauplii and cyprii in Gamak Bay, and they contributed 90% of mean abundance of total mesozooplankton. *Noctiluca scintillans* was high after the rainfall. Cluster analysis showed that the mesozooplankton community could be divided into 4 distinct groups, indicating rapid change of the community in the short-term of this survey. The relative contribution of each group of the *N. scintillans*, *P. avirostris*, *E. tergestina*, and *P. parvus* s. l. showed differences during the phytoplankton bloom period. The mesozooplankton community compositions were highly associated with water temperature, and salinity in physical conditions, and food organisms affect short-term variations in mesozooplankton composition. Interestingly, protozoa *N. scintillans*, and Cladocera appeared to be one of the key organisms to extinguish the phytoplankton bloom. Therefore, this study suggests that *N. scintillans*, and Cladocera could be a key player to control the mesozooplankton community structure during summer season, 2006.

Key Words : Mesozooplankton, Short-term variations, Phytoplankton bloom, *Noctiluca scintillans*, Cladocera

1. 서론

가막만은 남해 중앙부에 위치한 반폐쇄적 내만으로 외해수가 유입되는 남쪽수로와 여수항수가 유입

되는 북동쪽 수로 2개 출구를 통하여 해수교환이 이루어져 만내에는 서로 다른 특성을 가진 3개의 수형이 존재한다¹⁾. 그리고 해수의 수렴현상으로 인하여 정체된 북서내만해역에서는 육지로부터 대량의 생활하수가 유입되고 있으며, 만 중앙부 해역에서는 수하식 패류(진주담치와 굴) 양식이 주를 이루고 있어 조류 소통과 해수의 교환이 원활하지 않을 뿐 아니라 만 입구에서는 해상 가두리 양식이 장기간 시행하고 있어 해역에 따라 서로 다른 환경특성을 나타낸다²⁾. 특히, 하계 장마가 시작되면 육지로부터 영양염이 다량 포함된 담수가 지속적으로 유입되므로, 해역에 따라 영양염의 과잉 공급과 표층의 일사량 증가로 종속영양생물의 생체량의 급속한 증가와 더불어 식물플랑크톤의 대량 발생을 일으키게 된다³⁾. 표층에서 대발생한 식물플랑크톤이 저층으로 침강하게 되면 미생물에 의해 분해되어 산소 소비가 촉진되므로 빈산소 수괴(oxygen deficient)가 형성되어^{4,5)}, 동물플랑크톤 개체군 가입에 결정적인 역할을 담당하는 난 생산력과 부화율이 감소하여 전체적인 출현 개체수 감소와 종의 천이가 발생한다⁶⁻⁸⁾.

가막만은 주변에 있는 크고 작은 하천으로부터 유입되는 담수에 의하여 공급되는 영양염에 의해 식물플랑크톤 현존량이 높아져, 북서부 해역과 중앙부 해역의 동물플랑크톤 군집은 식물플랑크톤을 주로 섭식하는 지각류에 의해 조절된다^{9,10)}. 또한 만의 북서부 내만에서는 식물플랑크톤의 잦은 대량 발생으로 소수 동물플랑크톤 종만이 출현하여 생태학적으로 불안정한 특성을 보인다. 가막만은 여수반도 남단과 돌산도에 의해 둘러싸여 있는 내만으로 정체성 내만수, 하천수 그리고 외해수의 영향을 받는 3개의 수괴를 형성한다. 특히, 외해수의 영향을 강하게 받는 만 입구에서는 외양성 요각류의 출현이 군집에 영향을 미친다⁹⁾. 가막만과 같은 연안역에서의 동물플랑크톤 군집은 계절에 따른 수온과 먹이변화에 가장 큰 영향을 받지만¹⁰⁾, 하계의 장마로 인한 지속적인 담수유입은 해역의 이화학적 및 생물학적 요인들을 변화시켜 동물플랑크톤 군집에 영향을 미치게 된다^{6,11)}. 그러므로, 하계 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 군집 양상을 파악하기 위해서는 수질변동 특성에 대한 정확한 진단과 충분한 이해가 필요하지만, 하계 가막만의 수질환경과 동

물플랑크톤에 대한 연구는 북서부 내만에서 일부 수행되었을 뿐¹⁰⁾, 만 전체를 대상으로 하는 현장조사는 아직까지 보고되지 않았다.

따라서 가막만에서, 호우, 태풍 등 기상변화가 급격한 하계에 환경 변화에 따른 중형동물플랑크톤의 분포를 살펴보고, 수괴 특성을 달리하는 12개의 정점을 선정하여 가막만 해역의 환경요인의 단기 변동이 중형동물플랑크톤 분포 자료에 영향을 미칠 수 있는 가능성을 제시하고 이들 환경요인들과 동물플랑크톤 군집에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 환경요인

수질 환경요인으로는 표층과 저층을 대상으로 다항목수질측정기(YSI 6920, USA)을 이용하여 가막만의 12개 정점에서(Fig. 1) 수온, 염분, 용존산소를 측정하였다. Chlorophyll *a* (엽록소 *a*) 농도는 현장에서 취한 해수 500 ml를 공경 0.45 μm 인 Millipore membrane filter 여과지로 거른 후 Parsons¹²⁾의 방법으로 측정하였다.

2.2. 중형동물플랑크톤 채집

2006년 6월 19일, 7월 28일, 8월 4일, 8월 29일까지 총 4회에 걸쳐 만조 시 정조에 정점 별 3회씩 원추형 네트(망목 200 μm , 망구 45 cm)를 이용하여 중형동물플랑크톤을 수직으로 채집하였으며, 중성포르말린을 사용하여 최종농도가 5%가 되도록 고정하였다. 정량 분석을 위하여 유속계(Hydro-Bios model 438115, Germany)를 부착하여 여과 해수량을 측정하였다. 종 조성 및 출현 개체수의 조사에 시료의 분할이 필요할 때는 Folsom식 부차시료기를 이용하여 분할한 후, Bogorov 계수판에서 해부현미경(Olympus SZ40)을 사용하여 가능한 종 수준까지 동정하였으며 동정되지 않은 종들은 목(order)수준까지 분류하여 계수한 후 단위 체적(1 m³)당 출현 개체수로 환산하였다. 중형동물플랑크톤을 동정할 때 보다 세밀한 관찰이 필요한 경우는 동정에 필요한 부속지를 해부하여 고배율 광학현미경(Nikon Axiophot) 하에서 관찰하였다.

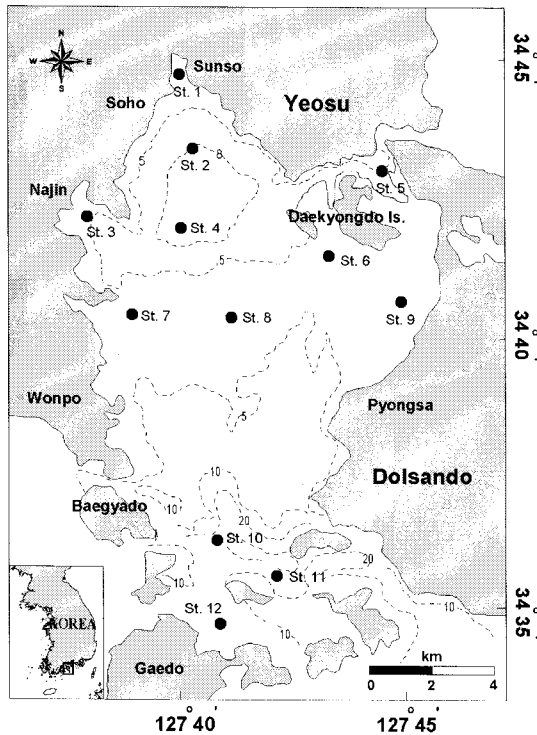


Fig. 1. Map of sampling stations in Gamak Bay.

2.3. 자료분석

조사시기에 따른 환경요인과 중형동물플랑크톤 종 구성과 출현 개체수의 변동을 조사하기 위하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA test)을 수행하여 환경 요인들의 평균값 사이의 차이를 검정하였으며, 유의한 차이가 있는 환경요인들은 Turkey의 사후 분석(Post-Hoc analysis)을 실시하여 차이를 검정하였다. 각 조사에 이용된 통계 유의성은 $p < 0.05$

수준으로 하였다.

중형동물플랑크톤의 출현빈도에 대한 자료는 다변량 분석법인 분류법(classification)과 배열법(ordination)을 이용하여 분석하였으며, 사용된 자료는 전체 출현 개체수에 순위를 정한 후 총 출현 개체수 중 상위 1% 이상 출현한 종의 자료를 이용하였다. 분석에 대한 각 대상의 출현 개체수 자료는 조사시기별, 종간의 심한 개체군 밀도차이에 의한 자료의 편중을 피하고 대상 자료의 분포를 정규화하기 위하여 대수변환 $[(\log_e(x+1))]$ 한 자료를 사용하였다. 중형동물플랑크톤 군집의 정점 간 유사도 측정을 위해 Bary-Curtis 유사도 지수를 토대로 비가중 산술평균(UPGMA)에 의하여 정점간 수지도(dendrogram)를 작성하여 군집화하는 계보적 집괴분석(hierarchical cluster analysis)을 수행하였다.

3. 결과

3.1. 환경요인

조사 기간 동안 얻어진 환경 자료를 one way-ANOVA test를 수행한 결과를 살펴보면(Table 1), 표층에서는 수온, 염분, 용존산소는 조사 시기에 따라 유의한 차이를 보였지만($p < 0.05$), 엽록소 a 는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 저층의 경우 수온, 염분, 엽록소 a 는 조사 시기($p < 0.05$)에 따라 차이를 보였지만, 용존산소의 경우는 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

표층 수온은 19.2~28.8℃ 범위였으며, 저층 수온은 8.6~27.2℃ 범위로 나타났으며(Fig. 2), 만의 북서부 해역의 표층과 저층의 수온 차이가 3.0~4.0℃로 수온약층이 형성되었다. 표층수온은 만 중앙부

Table 1. Temporal variations of surface and bottom temperature, salinity, dissolved oxygen, and chlorophyll a during the study periods. Data represent mean±SD. The same alphabetic letters are not significantly different (Tukey's multiple comparison, $p < 0.05$)

Date		Temperature (°C)	Salinity (psu)	DO (mg l ⁻¹)	Chl. a (µg l ⁻¹)
19, June	Surface	22.33±2.38 ^a	32.60±0.41 ^c	8.19±0.08 ^b	7.38±6.66 ^a
	Bottom	19.87±1.04 ^a	32.83±0.34 ^c	8.00±0.16 ^a	7.07±5.07 ^b
28, July	Surface	23.93±2.08 ^a	28.72±1.08 ^a	8.26±0.14 ^{ab}	5.78±5.38 ^a
	Bottom	21.66±1.29 ^b	29.65±0.80 ^a	7.93±0.22 ^a	1.49±0.46 ^a
4, August	Surface	27.88±2.25 ^b	30.52±0.59 ^a	8.26±0.08 ^{ab}	7.35±4.98 ^a
	Bottom	22.54±1.40 ^b	31.75±0.47 ^a	8.01±0.22 ^a	1.27±0.52 ^a
29, August	Surface	27.18±1.10 ^b	31.93±1.55 ^b	8.18±0.08 ^a	5.68±3.04 ^a
	Bottom	25.81±1.04 ^c	32.16±1.45 ^b	8.07±0.14 ^a	5.49±4.21 ^b

에서 북부해역까지 높게 나타났으며, 만 입구 쪽으로 갈수록 수온이 낮게 나타났다. 염분은 표층에서 27.1~33.6 psu 범위였으며, 저층은 28.1~33.2 psu 범위로 나타났다(Fig. 3). 염분의 변화는 강우량에 따른 영향으로 인하여 7월 28일에는 표층과 저층간에 2~4 psu 차이가 나타나 강한 염분성층이 형성되었다. 용존산소는 표층에서 5.84~10.06 mg l⁻¹, 저층에서는 0.68~9.89 mg l⁻¹의 범위를 나타냈으며(Fig. 4), 8월 4일에 정점 7과 대경도 인근 정점 5에서 빈산소 수위가 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 엽록소 *a*는 표층에서 1.3~22.4 µg l⁻¹의 범위를 나타냈으며, 저층에서는 0.7~14.8 µg l⁻¹로(Fig. 5), 소호 해역과 대경도 인근 해역에서 20.0 µg l⁻¹로 높게 나타났다.

3.2. 종조성과 출현개체수 변동

연구 해역에서 출현한 중형동물플랑크톤은 원생동물 1종, 해파리류, 모악동물 2종, 지각류 3종, 요각류는 미성숙체를 포함하여 10속 19개 분류군, 미충류 1종, 기타 분류군을 포함하여 총 44개 분류군이 동정되었으며, 이들 가운데 12개 분류군이 전체 출현 개체수의 90%의 출현 빈도를 나타냈다. 조사 시기에 따른 출현 종수와 평균 출현 개체수 변동에서는 유의한 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$). 중형동물플랑크톤의 출현 개체수 분포는 89~117,251 indiv. m⁻³의 범위였으며, 조사시기에 따른 평균 출현 개체수는 1,859~26,111 indiv. m⁻³ 범위로 8월 29일에 가장 낮았고 8월 4일에 가장 높게 나타났다.

3.3. 주요 우점분류군의 출현개체수 분포

조사기간 동안 가막만에 우점하는 중형동물플랑크톤은 원생동물인 야광충(*Noctiluca scintillans*), 지각류 *Penilia avirostris*, *Evadne tergestina*, 요각류 *Paracalanus parvus* s. l., *Acartia omorii*, *Acartia erythraea*, *Corycaeus affinis*, 그리고 Cirriped nauplii and cyprii (따개비 유생) 등 이었으며, 이들이 전체 동물플랑크톤 출현 개체수의 90% 이상을 차지하는 우점분류군이었다. 주요 우점 분류군인 *N. scintillans*의 평균 출현 개체수는 9,179 indiv. m⁻³이었으며, 6월 19일에는 출현하지 않았다가 7월 28일과 8월 4일에 대량 증식하였지만 이 후 출현 개체수가 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 6a). 정점별 분포양상에

서는 6월 19일과 8월 29일의 조사 시기를 제외하면 북서부 해역(정점 1)이 다른 해역에 비하여 1.5~10배 높게 출현하였다.

지각류 *P. avirostris*는 평균 출현 개체수가 2,825 indiv. m⁻³이었다. 이 종은 6월 19일에 출현하지 않았다가 7월 28일부터 북서부 해역(정점 1, 2, 3)과 중앙부 해역(정점 7, 8)을 중심으로 대량 증식하였지만, 8월 29일에서는 100 indiv. m⁻³로 출현 개체수가 급격하게 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 6b). 정점별 출현에서는 7월 28일에 북서부 해역(정점 2)과 중앙부 해역(정점 7)에서 약 30,000 indiv. m⁻³로 가장 높은 출현 개체수를 보였으며, 만 입구로 갈수록 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 지각류 *E. tergestina*는 조사기간 동안 출현 개체수가 평균 1,199 indiv. m⁻³이었으며, 전 조사기간 동안 출현하였다(Fig. 6c). 이 종은 만 중앙부 해역(정점 6, 9)을 중심으로 대량 출현하여 같은 지각류인 *P. avirostris*와 분포 양상이 상이하게 나타났다. 정점별 출현에서는 8월 29일을 제외하면 대부분 정체된 내만인 북서부 해역(정점 2와 3)과 만 중앙부 해역(정점 6과 9)에서 높은 출현 개체수를 보이는 것으로 나타났다.

요각류 *P. parvus* s. l.은 조사기간 동안 출현 개체수는 평균 751 indiv. m⁻³이었다. 이 종은 6월 19일에는 출현하지 않다가 7월 28일부터 출현 개체수가 증가하기 시작하여 8월 4일에 가장 높은 개체수 분포를 나타냈다(Fig. 6d). 정점별 출현은 만 입구를 제외한 모든 해역에서 고루 분포하는 것으로 나타났으며, 주로 북서부 해역(정점 2와 3)과 중앙부 해역(정점 7과 9)에서 높은 출현 개체수가 분포하는 것으로 조사되었다. 요각류 *A. omorii*의 출현 개체수는 평균 358 indiv. m⁻³로(Fig. 6e), 6월 19일에 수온이 25°C 이하인 비교적 정체된 해역을 중심으로 출현하다가 수온이 25°C 이상이었던 7월 28일 이후부터는 전혀 출현하지 않았다. 정점별 출현에서는 폐쇄적인 내만인 북서부 해역(정점 1과 2)보다 중앙부 해역(정점 6과 9)에서 10~20배 정도 높게 나타났다. 요각류 *A. erythraea*의 출현 개체수는 평균 48 indiv. m⁻³이었으며, 8월 4일부터 출현하는 것으로 나타났다(Fig. 6f). 이 시기에는 수온이 25°C로 상승하면서 *A. omorii*가 출현하지 않은 대신에 *A. erythraea*로 종이 변동하였으며, 정점별 출현에서는 8월 29일에 선소

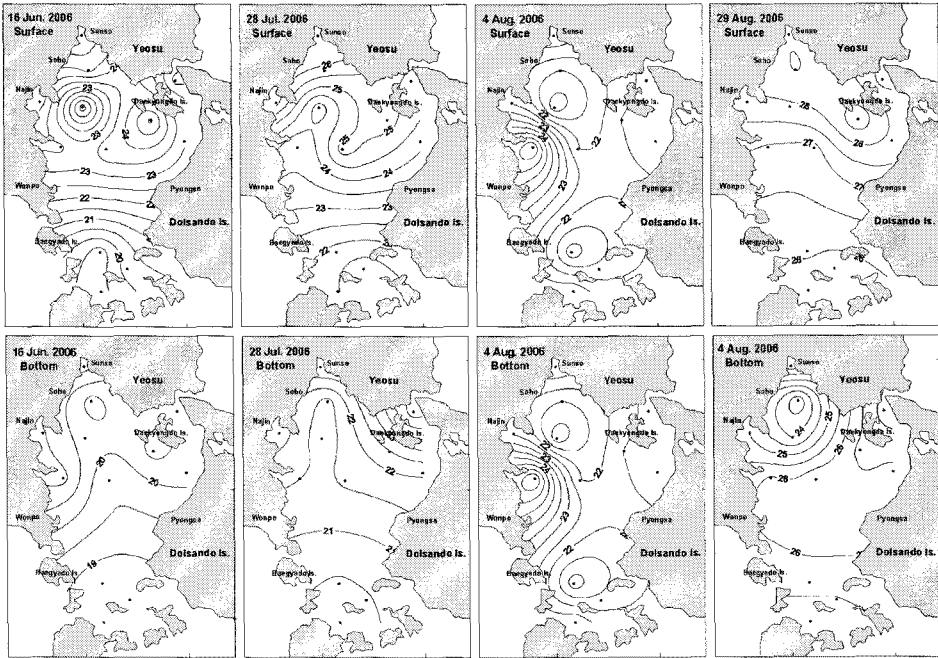


Fig. 2. Horizontal distribution of the surface and bottom temperature ($^{\circ}\text{C}$) in Gamak Bay.

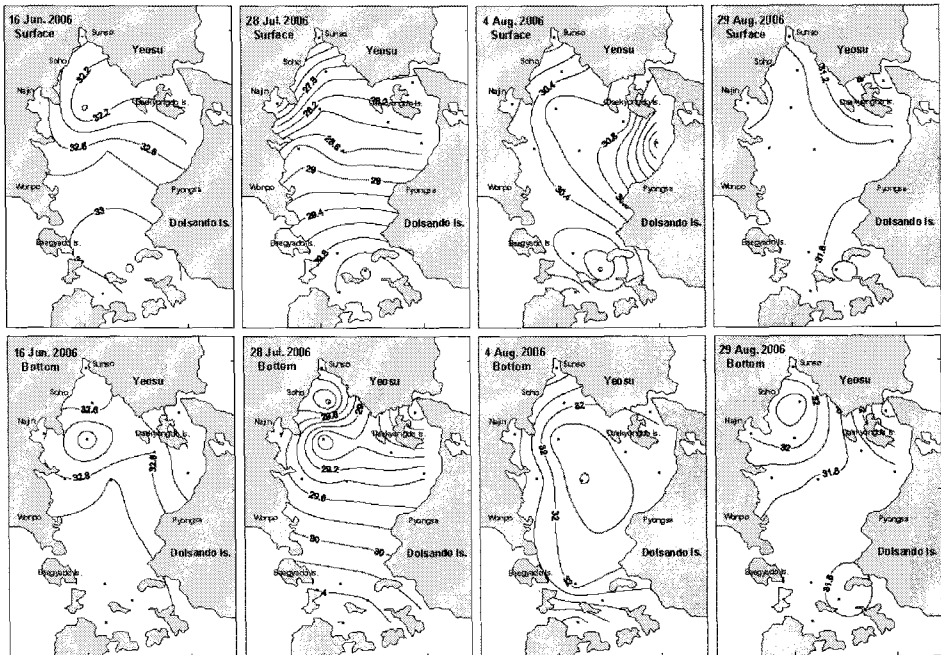


Fig. 3. Horizontal distribution of surface and bottom salinity (psu) in Gamak Bay.

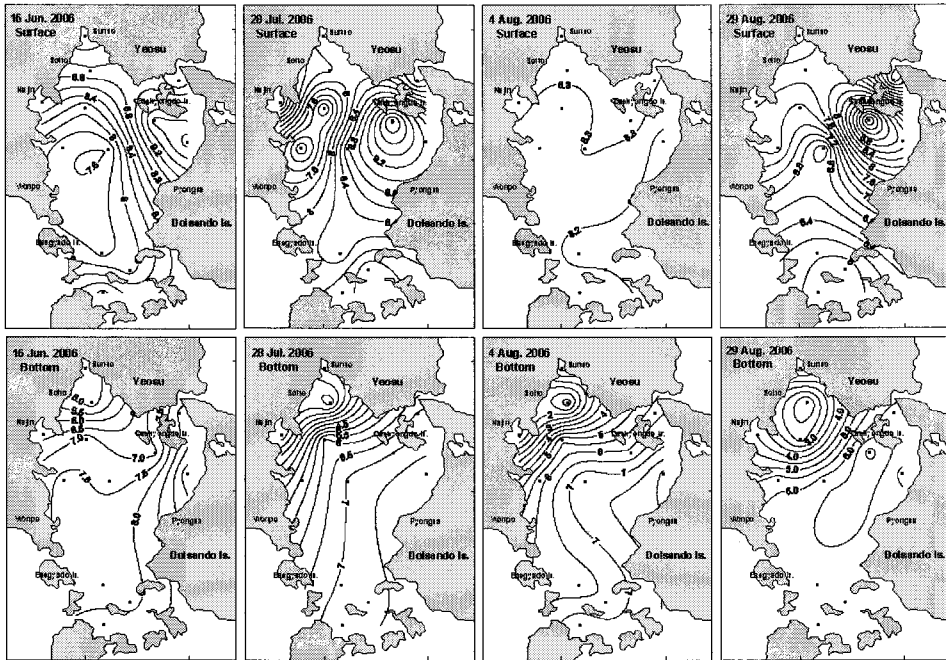


Fig. 4. Horizontal distribution of surface and bottom layer dissolved oxygen (mg l^{-1}) in Gamak Bay.

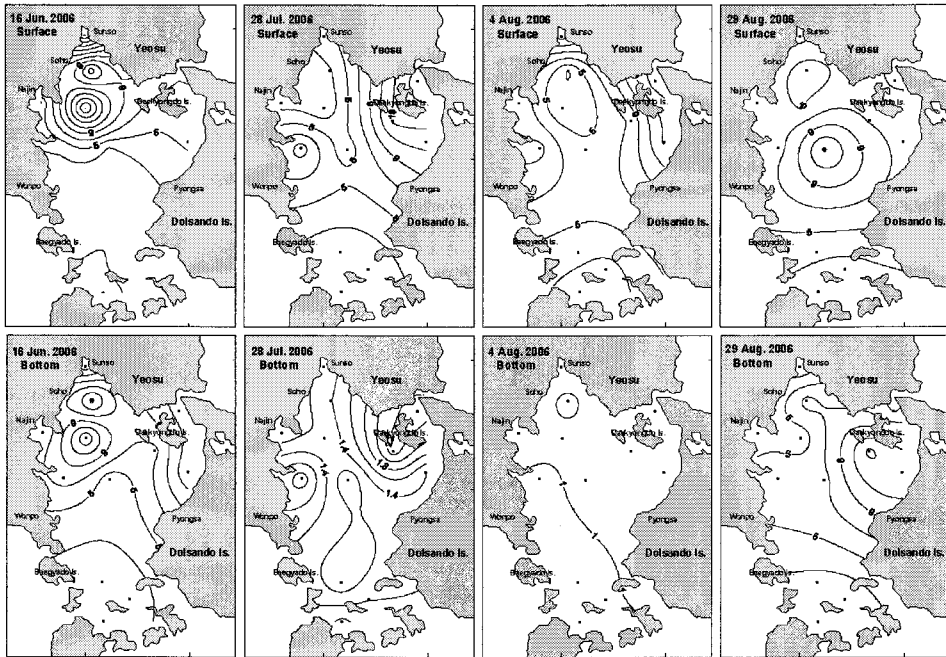


Fig. 5. Horizontal distribution of the chlorophyll *a* concentration (mg l^{-1}) in the surface and bottom waters in Gamak Bay.

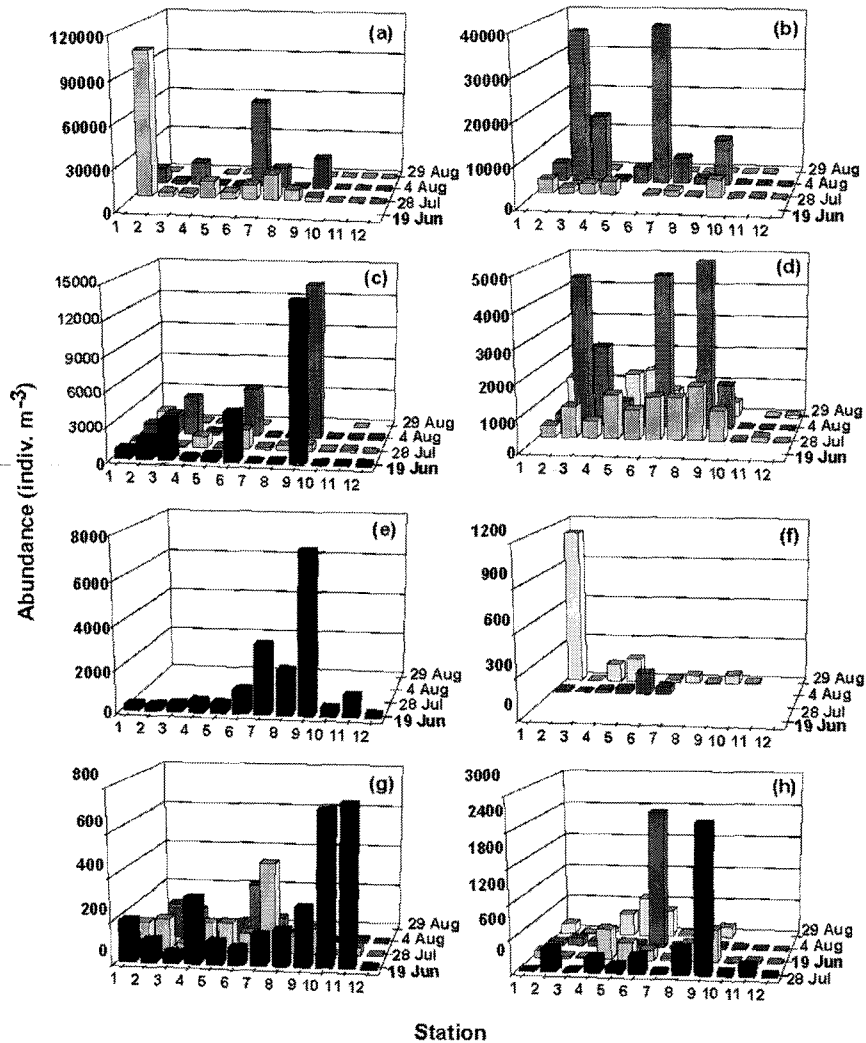


Fig. 6. Spatio-temporal variations of major mesozooplankton in Gamak Bay. (A) *Noctiluca scintillans*, (B) *Penilia avirostris*, (C) *Evedne tergestina*, (D) *Paracalanus parvus* s. l., (E) *Acartia omorii*, (F) *Acartia erythraea*, (G) *Corycaeus affinis*, (H) Cirriped nauplii and cyprii.

해역(정점 1)에서 1,111 indiv. m^{-3} 로 출현 개체수가 가장 높게 나타났다. 또한, 북서부 해역(정점 4와 5)과 중앙부 해역(정점 8과 10)을 중심으로 100 indiv. m^{-3} 미만으로서 이들이 주로 반폐쇄적인 내만 입구에서 개체군이 활발하게 증식하는 것으로 나타났다. 요각류 *C. affinis*의 출현 개체수는 평균 110 indiv. m^{-3} 이었으며, 전 조사기간 동안 출현하였다 (Fig. 6g). 6월 19일에는 만 입구(정점 10과 11)에서

700 indiv. m^{-3} 로 출현 개체수가 가장 높게 나타났으며, 내만으로 갈수록 출현 개체수가 감소하는 것으로 나타났다. 8월 29일에는 출현 개체수가 30 indiv. m^{-3} 미만으로 감소하였으며, 정점별 출현에서는 대부분 만 입구에서 출현 개체수가 높게 나타난 반면, 만 입구로 갈수록 출현 개체수가 감소하였다.

따개비 유생은 전 조사기간 동안 출현하였으며, 출현 개체수는 평균 243 indiv. m^{-3} 이었다(Fig. 6h).

이 종은 6월 19일에는 만 중앙부 해역(정점 9)에서 출현 개체수가 2,569 indiv. m⁻³로 가장 높게 출현하였으며, 7월 28일에는 전 조사 정점에서 출현 개체수가 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 8월 4일에는 대경도 인근 해역(정점 6)에서 2,455 indiv. m⁻³로 출현 개체수가 다시 증가하는 것으로 나타났다. 정점별로는 불규칙한 출현 양상을 보였지만 상대적으로 해수의 유동이 적은 만 중앙부와 대경도 인근 해역이 분포 중심이었다.

3.4. 군집분포 특성

조사시기에 따른 중형동물플랑크톤의 정점간 출현빈도에 기초한 Bary-Curtis 유사도 지수를 이용한 결과, 중형동물플랑크톤 군집이 크게 두 개의 상위 그룹(A와 B)과 이들 두 개의 상위그룹은 다시 2개의 subgroup (하위그룹)으로 구분되었다(Fig. 7). 하위그룹 A1은 6월 19일의 모든 조사정점을 포함하였으며, A2는 7월 28일의 대부분 정점과 8월 4일의 일부 정점들이 포함되었다. 7월 28일의 일부정점과 8월 4일의 일부정점, 그리고 8월 29일의 모든 정점들이 B그룹에 포함되었으며, 8월 29일의 일부정점이 하위그룹인 B2에 속하여 이 시기들의 대부분 정점들이 속한 B1과 구분되었다. 이와 같은 가막만 하계 중형동물플랑크톤 단기 군집구조 변동은 우점종의 시간 경과에 따른 종의 변동 양상과 일치한다.

4. 고찰

가막만은 여수반도의 남단과 돌산도에 둘러싸인 반폐쇄성 내만으로 34°40'를 기준으로 이북해역의 수심은 5~8 m이며, 이남해역은 수심은 10~20 m이다. 하계에는 몬순의 영향으로 지속된 장마의 결과 육상에서 영양염이 다량 함유된 담수가 유입되면서 북서부 해역을 중심으로 식물플랑크톤이 대량으로 증식하는 것으로 나타났다.^{3,5,13)} 그리고, 성층화된 내만의 저층에서 호흡과 분해량이 증가하는 생물학적 요인과 성층에 따른 용존산소의 연직 혼합을 크게 억제시키는 물리적 요인들에 의해 빈산소 수괴가 형성되기도 한다^{14,15)}. 이와 같이 북서부 해역과 같은 정체된 수괴에서 성층화와 식물플랑크톤 이상 증식은 빈산소 수괴 형성과 확산에 매우 중요한 영향을 미치게 된다.^{5,16)} 이번 연구에서도 장마기인 6

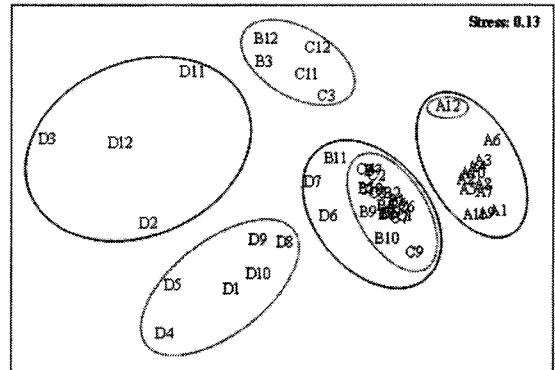
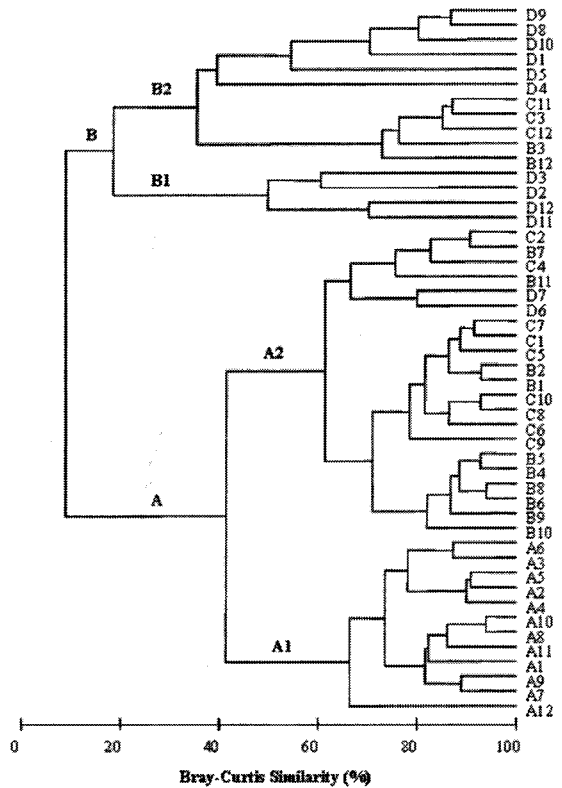


Fig. 7. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordinations plot of sampling sites based on abundance of mesozooplankton in Gamak Bay during study period. Each plot was described by month (A: June 19, B: July 28, C: August 4, D: August 29), and stations (1 to 12).

월 19일과 7월 2일에 육상으로부터 담수가 지속적으로 유입되어 표층과 저층간의 수온차가 3.0~4.0℃로 수온약층이 형성되어 용존산소가 표층에서는

5.84~10.06 mg l⁻¹, 저층에서는 0.68~9.89 mg l⁻¹의 농도 분포를 보여 북서부 해역의 오목한 지형적인 조건을 가지는 정점 4와 나진 해역의 정점 3에서 빈산소 수괴가 형성되는 것으로 나타났다. 그러나, 조사기간 동안 엽록소 *a*는 6월 19일의 일부 정점(6과 7)에서 20.0 μg l⁻¹로 높은 값이 조사되었을 뿐, 나머지 정점에서는 식물플랑크톤이 대량 발생한 흔적은 없었다. 이러한 결과는 가막만 주변에 유역면적이 큰 강은 없지만, 크고 작은 하천들이 산재하고 있어 하계에 호우가 발생하면 시가지로부터 담수가 일시적으로 유입될 수 있는 환경을 가지고 있어 유역면적이 큰 섬진강의 영향을 받는 여수 돌산도 동부연안역¹⁷⁾ 보다는 식물플랑크톤 대증식의 시기가 짧을 것으로 판단된다³⁾.

하계 가막만 동물플랑크톤 군집은 조사시기에 따라 다소 차이는 보이지만 *N. scintillans*와 지각류 *P. avirostris*, *E. tergestina*, 그리고 일부 부유성 요각류들에 의해 주도되는 것으로 나타났다. 문 등¹⁰⁾은 하계에 출현한 중형동물플랑크톤 군집은 지각류가 요각류보다 상대적으로 높은 출현빈도를 보인다고 하였다. 연안역에서 주로 식물플랑크톤과 매우 작은 입자를 섭식하는 지각류들은 주로 부영양화된 내만에서 처녀생식(parthenogenetic reproduction)을 통하여 짧은 기간에 개체군이 폭발적으로 증가하는 것으로 알려져 있다^{18~19)}. 이번 연구에서는 *E. tergestina*는 돌산도 서부해역(정점 9)에서 출현 개체수가 6,000 indiv. m⁻³ 이상으로 높게 나타난 반면, 7월 28일에는 일시적으로 감소하였으며, *P. avirostris*는 7월 28일부터 출현하여 8월 4일에는 정체되어 있는 선소 해역(정점 2)과 나진 해역(정점 7)에서 출현 개체수가 30,000 indiv. m⁻³ 이상으로 폭발적인 증식이 관찰되었다. 이러한 결과로 보아 두 종의 분포 범위가 서로 상이하지만 해수 유동이 적고 식물플랑크톤이 대량 증식했던 해역의 특성을 고려하면 종은 서로 다르지만 이들의 개체군이 유지될 수 있는 알맞은 서식환경이 조성되었다고 볼 수 있다.

반폐쇄적인 내만이나 하구역에서 하계에 주로 발생하는 저층의 빈산소 수괴는 해역의 중형동물플랑크톤 개체군 가입을 결정짓는 난 생산과 부화율을 낮게 하여 전체적인 종 조성과 출현 개체수를 일시적으로 감소시킨다^{8,20~21)}. 하계 가막만에서 형성되

는 빈산소 수괴의 주된 요인은 만의 중앙부 보다 수심이 깊고 오목한 지형적인 조건의 의해 성층화된 저층의 고립된 수괴가 존재하여 수온약층 아래의 풍부한 영양염과 광합성에 필요한 충분한 일사량에 의해 식물플랑크톤이 대량 발생 후에 저층으로 침강하게 되어 수괴의 유기물 분해와 퇴적물 산소 요구량 증가에 따른 용존산소 소비량의 증가이다⁹⁾. 이번 연구에서도 강우가 집중되었던 6월 19일 이후를 시작으로 선소 해역(정점 2)의 저층에서 빈산소 수괴가 형성되어 조사가 끝날 때 까지 관찰되었지만, 기대했던 중형동물플랑크톤 종 조성과 출현 개체수 변화에 대한 영향은 나타나지 않았다. 문 등⁶⁾은 하계 가막만 선소 해역에 출현하는 동물플랑크톤을 대상으로 한 수층 별 자료에서 중형동물플랑크톤 출현 종수와 출현 개체수의 뚜렷한 변화는 나타나지 않았지만, 요각류 유생(nauplii)들과 원생동물인 유충섬모충류(tintinnids)들의 출현 개체수는 용존산소 농도와 양의 상관성을 보인다고 하였다. 이러한 결과는 가막만과 같은 연안역에서 나타나는 빈산소 수괴가 중형동물플랑크톤 군집에 영향을 미칠 수 있는 가능성을 단적으로 보여주지만, 이는 요각류의 행동 적응성으로 비추어 볼 때, 수층 분포와 관계가 있을 가능성이 높을 수 있다²²⁾. 다시 말해서 연안역에서 저층에 빈산소 수괴가 형성되면 요각류의 도피 행동을 일으켜 출현 개체수가 감소된다는 기존의 결과들은 자명한 사실이지만⁸⁾, 이번 연구에서는 빈산소 수괴 해역을 대상으로 수층별 채집을 실시하지 않아 쉽게 판단하기는 어렵다. 따라서, 이러한 결과들의 신뢰도를 높이기 위해서는 추후 빈산소 수괴 형성 시기와 해역을 대상으로 하여 단기적인 수층별 채집과 함께 각 구성 종들을 대상으로 용존산소 농도에 대한 사육실험을 통하여 보완되어야 할 필요성이 있다고 판단된다.

하계 가막만 중형동물플랑크톤 평균 출현 개체수는 *N. scintillans*를 포함하여 1,589~26,111 indiv. m⁻³ 범위로 8월 29일에 가장 낮고 8월 4일에 가장 높게 나타났다. 조사기간 동안 가장 우점 하였던 *N. scintillans*는 6월 19일과 8월 29일의 일부 해역을 제외 한 시기에 소호 해역(정점 1)과 나진 해역(정점 7)에서 대량 증식하였으며, 엽록소 *a* 농도가 증가하는 시기에 매우 높은 출현 빈도를 나타냈다. 국내 전 연안역

에서 봄철과 가을철에 우점하여 출현하는 *N. scintillans*는 경기만에서 5월과 10월에 담수의 영향을 받는 내만수역에서 식물플랑크톤 대증식 시기와 고수온과 연관성을 갖는다²³⁾. 이번 연구에서도 6월부터 7월, 장마 기간 동안 지속되었던 강우로 인하여 담수와 영양염의 지속적인 유입에 따른 식물플랑크톤의 대량 증식과 함께 *N. scintillans*의 개체군이 증식할 수 있는 이유는 수온 23~25°C와 염분 27~32의 환경이 알맞게 조성되었기 때문으로 판단된다²⁴⁾. 이러한 사실은 인천 연안에서는 수온이 10.3~21.5°C 범위에서 출현 개체수가 30,000 indiv. m⁻³ 이상으로 나타난다는 결과에서 알 수 있듯이 *N. scintillans*은 성장 조건 중 수온과 먹이 환경이 알맞게 조성되면 높은 성장률로 짧은 기간에 출현 개체수가 증가한다는 기존의 연구 결과를 잘 반영해 주고 있다^{23,24)}.

부영양화된 연안역에서 중형동물플랑크톤 군집에 대한 출현 빈도가 높은 *Acartia*속 요각류는 *A. omorii*, *A. erythraea*, *A. pacifica*, *Acartia sinjiensis* 등 4종이 출현하였다. 먼저 6월 19일은 *A. omorii*가 만중앙부 해역에서 1,000 indiv. m⁻³ 이상의 출현 개체수를 나타냈으며, 2차 조사에서는 *A. erythraea*, *A. sinjiensis*, 3차 조사에서는 *A. pacifica*로 종이 변동하였다. 하계 가막만에서 출현한 *Acartia*속 요각류들의 시·공간적 분포 특징은 만의 중앙부 해역을 중심으로 선소 해역까지 출현하는 것으로 나타났다. Uye²⁵⁾의 연구에 따르면, *A. omorii*는 수온이 25°C 이상으로 한 달간 지속되면 요각류 개체군의 가입량을 결정하는데 중요한 난 생산력이 급격히 감소한다. 이번 연구에서도 수온이 25°C 이상을 보였던 7월 28일부터 출현하지 않아 이 시기에 내만 해역에서 발생한 난 생산력 감소에 따른 자연 사망률 증가가 *A. omorii* 개체군의 출현 개체수 감소에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 연안 하구역에서 낮은 염분과 식물플랑크톤 현존량이 높은 해역에서 집중적으로 서식하는 *A. sinjiensis*는 7월 28일과 8월 4일에 선소 해역을 중심으로 대경도 해역(정점 1~6)까지 출현하는 것으로 나타났다. Uye 등²⁶⁾의 연구결과에 의하면, 이 종은 일본의 Miho 만 상부에 위치하고 있는 Ohasih 강과 Nakaumi 호수에서 수온이 높고 염분이 낮은 9월에 출현한 중형동물플랑크톤 중 출현 빈도가 90%를 차지하는 것으로 나타났다. 이러한

결과에서 *A. sinjiensis*가 출현하는 환경특성을 고려할 때 하계 장마기간 동안 반폐쇄적이고 해수 유동이 적으며 주변에 크고 작은 하천을 통하여 시가지의 생활하수가 유입된 결과, 선소 해역의 부영양화를 초래시켜 표영생태계를 불안정하게 만들 수 있다는 것을 보여주고 있다.

조사기간 동안 중형동물플랑크톤 군집에서 우점하였던 *P. parvus* s. l.은 한국의 내만에서 연중 우점하여 출현할 뿐 아니라 하계에 대량으로 증식하는 종이다^{9,11,27~28)}. 박 등²⁸⁾은 섬진강 하구역에서는 *P. parvus* s. l.의 출현 범위를 수온 4.4~29.6°C와 염분 2.1~32.8 psu 범위에서 출현하며, 이 중 수온은 14.9°C이며, 염분은 32 psu 일 때 가장 높은 출현 개체수를 보인다고 보고하였다. 또한, 광양만 중형동물플랑크톤의 계절별 연구 결과에서는 10월과 12월에 우점종으로 출현한다고 하였지만²⁹⁾, 이 종은 연구해역에 따라서 시·공간적 분포범위는 상이하게 나타난다^{24,27,29)}. 이번 연구에서 하계 장마 기간 동안 *P. parvus* s. l.의 시·공간적 분포는 6월 19일에 만의 북쪽인 나진 인근 해역과 대경도 인근 해역, 그리고 소호 인근 해역에서 출현 개체수가 평균 2,000 indiv. m⁻³로 우점하였으며, 수온이 25°C 이상이었던 8월 29일에도 중앙부 해역에서 출현 개체수가 평균 1,000 indiv. m⁻³로 개체군이 유지되는 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 가막만의 하계 *P. parvus* s. l.의 시·공간 분포는 해수 유동이 적은 내만을 중심으로 전 해역에 걸쳐 고르게 분포하는 양상을 보이고 있어 수온 변화와 식물플랑크톤의 현존량 이외의 다른 환경 요인들에 의해 조절되는 것으로 판단된다.

결론적으로 이번 연구결과를 놓고 볼 때, 중형동물플랑크톤의 종 조성 차이는 나타나지 않았지만 우점 분류군 출현 개체수 변동은 뚜렷하게 관찰되었다. 하계에 장마 기간 동안 내렸던 강우는 가막만 내의 담수의 유입으로 이어져 지속적인 영양염 공급과 수온 및 염분성층을 일으켜 엽록소 *a* 농도의 상승과 저층의 빈산소 수괴를 일으키는 주된 요인으로 작용하는 것으로 나타났지만, 빈산소 수괴가 중형동물플랑크톤 출현 종수와 출현 개체수에 미치는 영향은 미약했다. 그러나, 하계 가막만의 중형동물플랑크톤 시·공간 분포는 수온상승과 담수 유입

에 따른 영양염의 지속적인 유입으로 엽록소 *a* 농도가 상승하면서 *N. scintillans* 와 지각류와 같은 우점 분류군들의 출현 개체수가 높아지면서 군집이 조절되는 것으로 보아 향후 *N. scintillans*와 요각류의 출현동태에 관한 재고찰이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

하계 가막만의 중형동물플랑크톤의 단기군집 구조를 파악하기 위해 2006년 6월 19일, 7월 28일, 8월 4일 및 8월 29일 4차례에 걸쳐 12개 정점을 대상으로 실시하였다. 표층의 수온과 엽록소 *a* 농도는 저층보다 유의하게 높았으며, 만 입구보다 북서부 내만에서 높게 나타났다. 하계 장마기간 동안 가막만에서 출현한 동물플랑크톤은 요각류 19개 분류군을 포함하여 총 44개 분류군이 동정되었다. 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤 평균 출현 개체수는 1,859~26,111 indiv. m⁻³ 범위를 보여 시·공간적인 변동이 크게 나타났다. 우점 분류군은 원생동물 *Noctiluca scintillans*, 지각류 *Penilia avirostris*, *Evadne tergestina*, 요각류 *Paracalanus parvus* s. l., *Acartia omorii*, 그리고 따개비 유생으로 전체 중형동물플랑크톤의 90%를 차지하였고, 강우 후에 *N. scintillans*가 대량 증식하였다. 중형동물플랑크톤 군집 분석 결과 조사시기에 따라 크게 4개의 그룹으로 구분되는 것으로 나타나 시간의 경과에 따른 단기 변동을 잘 나타냈다. 조사기간 동안 *N. scintillans*, *P. avirostris*, *E. tergestina* 및 *P. parvus* s. l.의 상대적인 기여도는 식물플랑크톤 생물량에 따라 차이를 나타냈다.

중형동물플랑크톤의 높은 출현 개체수와 수온, 염분과 같은 물리적인 요인들에 따른 먹이환경의 급격한 변화가 하계 가막만의 중형동물플랑크톤 단기군집 변동에 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 결과적으로 식물플랑크톤의 대량 발생시기에 중형동물플랑크톤 군집은 *N. scintillans*와 지각류에 의해서 변동하였으며, 조사기간 동안 *N. scintillans*와 지각류는 식물플랑크톤 대량 발생의 소멸과 관련된 중요한 섭식자로서 하계 가막만의 중형동물플랑크톤 군집을 조절하는데 중요한 역할을 담당하는 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 국립수산과학원 남해수산연구소에서 수행중인 남해해양환경연구(RP-2008-ME-036)에 의하여 수행되었습니다. 논문을 읽고 세세한 부분의 지적과 논문작성에 많은 도움을 주신 심사위원들께 감사드리며, 남해수산연구소 환경연구과 연구원들께도 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 1) Lee G. H., 1992, The pattern of sea water circulation in Kamak Bay, Bull. Korean Soc. Fish. Tec., 28(2), 117-131.
- 2) 해양수산부, 2001, 환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립 연구, 275pp.
- 3) Lee Y. S., Moon S. Y., 2006, The water quality in the Soho coastal seawaters of Gamak Bay before and after a Typhoon, J. Korean Soc. oceano., (The Sea), 11(3), 117-123.
- 4) Yoon J. S., 1998, A study on the upwelling phenomena of anoxic bottom water (Blue tide phenomena) in the coastal areas, J. Env. Sci., 7(3), 291-299.
- 5) Kim J. B., Lee S. S., Choi Y. H., Jung C. S., Lee P. Y., 2006, The characteristic of oxygen deficient water mass in Gamak Bay, J. Korean Soc. Mar. Env. Eng., 9(4), 216-224.
- 6) Moon S. Y., Soh H. Y., Choi S. D., Jung C. S., Kim S. Y., Lee Y. S., 2006, Effect of a low oxygen layer on the vertical distribution of zooplankton in Gamak Bay, Korean J. Env. Bio., 24(3), 240-247.
- 7) Hanazato T., 1997, Development of low-oxygen layer in lake and its effect on zooplankton communities, Korean J. Limnol., 30, 506-511.
- 8) Stadler, Marcus, 1997, Zooplankton responses to hypoxia: behavioral patterns and survival of three species of calanoid copepods, Mar. Biol., 127, 599-607.
- 9) Soh H. Y., Lee I. T., Yoon Y. H., Choi S. D., Lee S. N., Han M. I., Kim B. S., Kang Y. H., Lee W. B., 2002, Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Gamak Bay, Korean J. Env. Bio., 20(2), 118-129.
- 10) Moon S. Y., Yoon H. S., Soh H. Y., Choi S. D., 2006, Environmental factors and variation characteristics of zooplankton communities in Gamak Bay, Ocean and Polar Res., 28(2), 79-94.
- 11) Calbet A., Garrido S., Saiz E., Alcaraz M., Duarte C. M., 2001, Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: The importance of the smaller size fractions, J. Plankton Res., 23, 319-331.

- 12) Parsons T. R., Matia Y., Lalli C. M., 1984, A manual of chemical and biological methods for seawater analysis, Pergamon Press, 173pp.
- 13) 윤양호, 1995, 가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동 특성, I. 식물플랑크톤 군집이 계절동태와 적조원인생물, 여수대학교 수산과학연구소 논문집, 4, 1-15.
- 14) Choi W. J., Park C. K., Lee S. M., 1994, Numerical simulation of the formation of oxygen deficient water-masses in Jinhae Bay, J. Korean Fish. Soc., 27(4), 413-433.
- 15) Kimura H., Izimi M., 1994, Effect of oxygen deficiency of the sea bottom of environment of bay, Fish. Eng., 31, 41-45.
- 16) Richards F. A., 1965, Anoxic basins and Fijords, In Chemical Oceanography, Vol. 1, Academic Press, 611-645.
- 17) Lee Y. S., 2002, An influence of inflowing fresh water on the diatom blooms in the eastern coast of Dolsan, Yosu, Korea, J. Korean Soc. Env. Eng., 24(3), 477-488.
- 18) Longhurst A. R., Seilbert D. L. R., 1972, Oceanic distribution of *Evdne* in the eastern Pacific (Cladocera), Crustaceana, 22, 239-248.
- 19) Onbé T., 1977, The Biology of Marine Cladocerans in Warm Temperate Water. Proceedings of a Symposium on Warm Water Zooplankton, Publica. Especial, UNESCO/National Institute of Oceanography, Goa, 383-393.
- 20) Roman M. R., Gauzens A. L., Rhinehart W. K., White J. R., 1993, Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton, Limnol. Ocnogr., 38, 1603-1614.
- 21) Keister J. E., Houde E. D., Breitburg D. L., 2000, Effects of bottom-layer hypoxia on abundances and depth distributions of organisms in Patuxent River, Chesapeake Bay, Mar. Ecol. Prog. Ser., 205, 43-59.
- 22) Bollens S. M., Frost B. W., 1991, Diel vertical migrations in zooplankton: rapid individual response to predators, J. Plankton Res., 136, 1359-1365.
- 23) Youn S. H., Choi J. K., 2003, Spatio-temporal distribution of zooplankton community in Kyeonggi Bay, J. Korean Soc. oceano. (The Sea), 8, 243-250.
- 24) 이정근, 1995, 야광충(*Noctiluca scintillans*)의 증식과 환경조건에 관한 기초연구, 1995년 춘계 수산관련 공동학회 발표요약집, 한국수산학회지, 19-41.
- 25) Uye, 1981, Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smirnov: A simple empirical model of daily egg production, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 50, 255-271.
- 26) Uye S., Shimazu T. M., Yamamura M., Ishitobi Y., Kamiya H., 2000, Geographical and seasonal variations in mesozooplankton abundance and biomass in relation to environmental parameters in Lake Shinji-Ohashi River-Lake Nakaumi brackish water system, Japan. J. Mar. Sys., 26, 193-207.
- 27) Soh H. Y., Suh H. L., 1993, Seasonal fluctuation of the abundance of the planktonic copepods in Kwangyang Bay, Korean J. Env. Bio., 11(1), 26-34.
- 28) Park C., Lee P. G., Yang S. R., 2002, Variation of zooplankton distribution in the season and salinity gradients, J. Korean Soc. oceano. (The Sea), 7(2), 51-59.
- 29) Jang M. C., Jang P. G., Shin K., Park D. W., Jang M., 2004, Seasonal variation of zooplankton community in Gwangyang Bay, Korean J. Env. Bio., 22(s), 11-29.